

Rec'd PC

27 MAY 2005

Patent Application Publication

DE 44 45 684 A1

(54) Process for determining torques, operating processes, and power on internal combustion engines

(57) The subject matter of the invention is the determination of torques of internal combustion engines, computation of the gas torque, determination of the cylinder-specific proportions of operating processes, torque and power, and establishment of the combustion characteristics especially for control of the engine and the individual cylinders. This is achieved by more accurate determination of characteristics and by the determination of the effective torque which is important for ascertaining the other cylinder-specific data, and the latter determination can be computed from the family of characteristics.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 44 45 684 A 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
G 01 M 15/00
G 01 L 3/10
G 01 L 5/00

⑳① Aktenzeichen: P 44 45 684.0
⑳② Anmeldetag: 21. 12. 94
⑳③ Offenlegungstag: 27. 6. 96

DE 44 45 684 A 1

⑦① Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦② Erfinder:
Fehrenbach, Hermann, Dr., 76761 Rülzheim, DE;
Ruckhäberle, Martin, 75217 Birkenfeld, DE; Kirsch,
Harald, 76337 Waldbronn, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur Ermittlung von Drehmomenten, Arbeiten und Leistungen an Verbrennungskraftmaschinen

⑤⑦ Gegenstand der Erfindung ist die Ermittlung von Drehmomenten von Verbrennungskraftmaschinen, die Berechnung des Gasdrehmomentes, die Bestimmung zylinderspezifischer Arbeits-, Drehmoment- und Leistungsanteile und die Feststellung von Verbrennungskennwerten insbesondere zur Regelung des Motors bzw. der einzelnen Zylinder. Dies wird erreicht durch eine genauere Ermittlung von Kennlinien und aus dem Kennlinienfeld errechenbare Ermittlung des effektiven Drehmoments, das für die Ermittlung der weiteren zylinderspezifischen Daten wesentlich ist.

DE 44 45 684 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 04. 96 602 026/291

8/27

Beschreibung

Gegenstand der Erfindung ist die Ermittlung von Drehmomenten von Verbrennungskraftmaschinen, die Berechnung des Gasdrehmomentes, die Bestimmung zylinderspezifischer Arbeits-, Drehmoment- und Leistungsanteile und die Feststellung von Verbrennungskennwerten gemäß dem Oberbegriff der Ansprüche 1, 4 und 9.

Stand der Technik

- Einige bekannte Methoden, das Drehmoment an der Kurbelwelle bzw. das effektive Drehmoment zu ermitteln, gehen von der direkten Messung an dem übertragenden Maschinenelement aus. Dazu werden beispielsweise drehelastische Wellen mit Dehnungsmeßstreifen oder pendelnd aufgehängte Belastungseinrichtungen mit Kraftmeßdosen benutzt. Diese Anordnungen sind aufwendig und anfällig, oft auch nur in stationären Prüfständen anwendbar. Sie sind deshalb mit dem hier vorgeschlagenen Verfahren nicht vergleichbar.
- Außerdem existieren "indirekte Verfahren", die das Drehmoment aus Größen ermitteln, die möglichst berührungslos erfaßt werden. Beispielsweise werden auf biegeweichen Wellenstücken im Abtriebsstrang Schlitzscheiben in definierten Abständen befestigt, um die Verdrehung zu messen, deren Betrag ein Maß für das momentan auftretende Drehmoment darstellt. Auch diese Methode ist aufgrund der aufwendigen Aufnahmetechnik nicht mit der vorliegenden Anmeldung vergleichbar.
- Die weitere Darstellung des Standes der Technik beschränkt sich auf "indirekte" Verfahren, die durch Messung der Kurbelwellenwinkelgeschwindigkeit auf das effektive Drehmoment schließen. Sie benutzen dazu analoge Verfahren zur Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung (f/U -Wandler, analoge Differentiatoren/Ribbens, Rizzoni/. Der Einfluß oszillierender Massendrehmomente wird rechnerisch kompensiert. Dabei werden nur Signalkomponenten bei der Zündfrequenz berücksichtigt Rizzoni, G. A Dynamical Model for the Internal Combustion Engine. Ph. D. Dissertation, Department of Electrical Engineering, University of Michigan, Ann Arbor/MI, 1986.
- Einen weiteren Fortschritt bringen auf digitalen Zählertechniken basierende Verfahren zur Meßwerterfassung: Start/Stop-Zählertechniken mit festen Referenzoszillatorfrequenzen.
- Digital arbeitende Verfahren verwenden u. a. gleitende Mittelwertbildung zur Bandbreitenbegrenzung bei der Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit ϕ sowie deren Ableitung $\dot{\phi}$. Die Differentiation erfolgt durch Bildung des Differenzenquotienten.
- Zur Beurteilung der zylinderspezifischen Leistung oder des zylinderspezifischen Drehmomentes werden prozentuale Relativwerte zwischen den Zylindern angegeben; absolute Werte liefern diese Verfahren jedoch nicht. Freestone, J.W., Jenkins, E.G. The Diagnosis of cylinder faults in diesel engines by the flywheel measurements. Institution of Mechanical Engineers, London 2/1985.

Nachteile der beschriebenen Verfahren

- Die Erfassung der Winkelgeschwindigkeit mit analogen Frequenzdemodulatoren führt zu Laufzeitverzerrungen im erfaßten Signal. Eine Kompensation von Drehmomentanteilen oszillierender Massen ist aufgrund der Verzerrungen nicht ohne große Fehler möglich.
- Die Winkelgeschwindigkeitsmessung durch Impulsabstandsmessung mit Start/Stop-Zählertechnik weist einen Meßfehler bis zur einfachen Zeitkonstanten des Referenzoszillators auf.
- Die Verwendung des Differenzenquotienten zur Bestimmung der Winkelbeschleunigung aus der Winkelgeschwindigkeit hat störende hochfrequente Signalanteile zur Folge. Zusätzlich treten nahe der Nyquistfrequenz deutliche Berechnungsfehler auf. Gleitende Mittelwertbildung zur Tiefpaßfilterung besitzt zu geringe Flankenteilheit des Filters um hochfrequente Störungen ausreichend zu dämpfen.
- Die Beschränkung der Auswertung auf Spektralkomponenten bei der Zündfrequenz führt zu stark nichtlinearen Kennfeldern.

Behebung der Nachteile

- Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, die oben genannten Nachteile zu beheben und auf preiswerte Weise sowohl das effektive Drehmoment und die Gesamtleistung als auch die zylinderspezifischen Werte zu bestimmen.
- Erfindungsgemäß wird dies erreicht durch ein Verfahren nach den Ansprüchen 1, 4 und 9. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.
- Unter Berücksichtigung des Trägheitsmomentes der rotierenden Massen und unter Kompensation von Drehmomenten oszillierender Massen wird das resultierende Drehmoment mit Hilfe eines motortypischen Kennfeldes berechnet. Dieses Kennfeld wird durch Versuche bei verschiedenen Drehzahlen und Laststufen bestimmt. Mit Hilfe dieses so bestimmten Kennfeldes können dann aufgrund von Winkelgeschwindigkeitsmessungen das effektive Drehmoment M_{eb} (M_e berechnet) berechnet und nach weiterer Verarbeitung der Gasdrehmomentverlauf über dem Kurbelwinkel angegeben werden.
- Ausgehend vom Gasdrehmomentverlauf können dann Arbeits-, Drehmoment- und Leistungsanteile der einzelnen Zylinder berechnet werden. Ferner wird mit Hilfe von Ensemblestatistiken über mehrere Arbeitsspiele der Verbrennungsablauf analysiert, was für die Regelung und Kontrolle des Motors im Fahrbetrieb von Bedeutung ist, z. B. zur Verringerung des Kraftstoffverbrauches und/oder zur Verringerung der Schadstoffemissionen.
- Folgende Verfahrensschritte sind dabei von Bedeutung:

— Präzise Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}(\varphi)$ und der Winkelbeschleunigung $\ddot{\varphi}(\varphi)$ (nach Anspruch 1 und 3). Unter Verwendung von an den Motortyp angepaßten mittelnden Rechenvorschriften werden Kenngrößen für das effektive Drehmoment ermittelt, die eindeutig und maximal empfindlich über den gesamten Arbeitsbereich des Motors sind (Anspruch 4).

— Bestimmung eines motortypabhängigen oder in besonderen Fällen auch bzgl. eines einzelnen Motors individuellen Kennlinienfeldes, dessen Eingangsgrößen die o.g. Kenngrößen sind und dessen Ausgangswert für die weitere Ermittlung, z. B. Arbeit, Leistung und zylinderspezifische Kenngrößen, das nunmehr anhand des Kennlinienfeldes ermittelte effektive Drehmoment M_{eff} ist.

— Gleichzeitige Berücksichtigung von drehzahlabhängigen, nach dem Stand der Technik gemessenen Reibungsdrehmomentanteilen, wodurch der momentane Betriebszustand wesentlich besser berücksichtigt wird.

— Bestimmung des Kennfeldes durch einen Belastungsversuch auf einem Prüfstand. Das Kennfeld ist ausschließlich bestimmt vom Motortyp und der o.g. Art der Kennwertberechnung. Eine erhöhte Genauigkeit ergibt sich, wenn der Belastungsversuch an demselben Motor erfolgt, an dem das Verfahren benutzt werden soll.

Der Ausführung der Meßwerterfassung und der Filterung bzw. Weiterverarbeitung kommt besondere Bedeutung zu.

Durch eine neue Zähleranordnung wird die Genauigkeit der Drehzahlmessung gesteigert. Durch digitale Signalverarbeitungsmethoden werden Berechnungsfehler bei der Bestimmung des Drehmomentes an der Kurbelwelle verringert. Der Einfluß von oszillierenden Massenanteilen (bei Hubkolbenmaschinen) wird rechnerisch kompensiert. Aus dem resultierenden Wechseldrehmoment werden Kennwerte gebildet für

- das effektive Gesamtdrehmoment, (Anspruch 4)
- die effektive Gesamtleistung,
- die zylinderspezifischen Arbeitsanteile
- die zylinderspezifischen Drehmomentanteile,
- die zylinderspezifischen Leistungsanteile und
- den Verbrennungsablauf, (Anspruch 9)

so daß außer dem effektiven Gesamtdrehmoment auch die zylinderspezifischen Größen ableitbar sind.

6. Ausführungsbeispiele

Das Verfahren wird anhand der folgenden Ausführungsbeispiele dargestellt. Die einzelnen Komponenten werden in der Reihenfolge beschrieben, die sich aus dem Signallauf des Verfahrens ergibt.

6.1 Erstes Ausführungsbeispiel

Das erste Ausführungsbeispiel betrifft die Bestimmung des effektiven Drehmomentes M_{eff} (siehe Abbildung).

MESSWERTERFASSUNG

Als Signalquelle dient ein an sich bekannter Inkrementalgeber, der fortlaufend umdrehungssynchrone Signale von der Kurbelwelle liefert. Er ist in der Nähe des Schwungrades angebracht, um den Einfluß von Verdrehungen der Kurbelwelle zu minimieren. Besonders vorteilhaft ist die Realisierung des Drehgebers durch einen berührungsfreien Sensor, der das Vorbeilaufen der Zähne des außen auf dem Schwungrad sitzenden Zahnkranzes registriert. Vorzugsweise werden berührungslose Induktiv- oder Hallgeber verwendet. Die Anzahl der Inkremente N des Inkrementalgebers für eine Umdrehung ist bei vorteilhafter Anwendung des Verfahrens mindestens doppelt so hoch wie die Anzahl der Zylinder, jedoch mindestens 8.

HOCHGENAUE BERECHNUNG DER WINKELGESCHWINDIGKEIT

Die Drehzahlmessung basiert auf einer möglichst genauen Erfassung der momentanen Drehgeschwindigkeit $\dot{\varphi}$, die unten beschrieben wird. Umdrehungssynchrone Merkmale des Drehgebersignals triggern die Abtastung eines Zählers. Als Trigger eignen sich zum Beispiel Signalnulldurchgang bei induktiven Gebern oder Signalfanken bei Gebern mit digitalen Ausgangssignalen. Die zeitlichen Abstände T_i der umdrehungssynchronen Signalmerkmale werden mit Hilfe des Zählers bestimmt. Dazu werden Impulse mit der Referenzfrequenz f in dem Zähler fortlaufend gezählt. Impulse mit der Referenzfrequenz können z. B. mit einem Quarzoszillator erzeugt werden, der Bestandteil der beschriebenen Ausführung ist. Überläufe des Zählers — erkennbar daran, daß ein abgetasteter Zählerstand kleiner ist als der vorhergehende — werden programmtechnisch kompensiert. Diese Zählertechnik ist im Hinblick auf die hohe Referenzfrequenz einfacher zu realisieren als eine Start/Stop-Zählereinheit und weist im Mittel eine höhere Genauigkeit auf. Mehrfachmessungen bei jeweils gleichen Kurbelwinkeln (Ensemblemittelung) ergeben eine statistisch begründete erhöhte Auflösung und Genauigkeit. Beim Auftreten des Triggers wird der aktuelle Zählerstand Z_i an ein Auswertegerät übertragen. Die mittlere Winkelgeschwindigkeit in der Zeit zwischen zwei Signalmerkmalen im i -ten Winkelschritt ergibt sich zu

$$\omega_i = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\left[(Z_i - Z_{i-1} + \hat{Z}) \bmod \hat{Z} \right] \cdot N} \quad (1)$$

5

z. B. mit $\hat{Z} = 2^{16}$, wenn ein 16-bit Zähler verwendet wird.

SIGNALVERARBEITUNG

10

Die Signalverarbeitung und die Berechnung der Winkelgeschwindigkeit erfolgen im Auswertegerät. Der berechnete Verlauf der Winkelgeschwindigkeit $\omega_i(\varphi) = \dot{\varphi}(\varphi)$ wird mit Hilfe eines FIR-Tiefpasses bandbegrenzt. Die Ableitung der Winkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}(\varphi)$ nach dem Winkel an der Kurbelwelle φ wird mit Hilfe eines FIR-Differenzierfilters durchgeführt. Das Produkt aus Ableitung der Winkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}(\varphi)$ nach dem Kurbelwinkel φ und der Winkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}(t)$ ergibt die Winkelbeschleunigung $\ddot{\varphi}(\varphi)$.

15

Die Bandbreite des Differenzierfilters ist je nach Motortyp und Auftreten von Torsionsschwingungen zu optimieren. Die Berechnung der quasistatischen Drehzahl n erfolgt durch Mittelung der Winkelgeschwindigkeit über ein Arbeitsspiel.

20

SIGNALAUSWERTUNG FÜR DIE BESTIMMUNG DES EFFEKTIVEN DREHMOMENTES AUS DER WINKELBESCHLEUNIGUNG

Die Drehmomentbilanz an der Kurbelwelle

$$\Theta \cdot \ddot{\varphi} = M_G(\varphi) - M_M(\varphi) - M_R - M_e(\text{gemessen}) \quad (2)$$

mit

Θ : Trägheitsmoment der rotierenden Massen

$\ddot{\varphi}$: Winkelbeschleunigung der Kurbelwelle

30 $\Theta \cdot \dot{\varphi}$: Freies Drehmoment

$M_G(\varphi)$: Gasdrehmoment, erzeugt durch Gasdruck in den Verbrennungsräumen

$M_M(\varphi)$: Drehmoment oszillierender Massen

M_R : Reibungsdrehmoment, quasistatisch in bezug auf das Arbeitsspiel des Motors

35 M_e : effektives Drehmoment, das abtriebsseitig z. B. an der Bremse anliegt, quasistatisch in bezug auf das Arbeitsspiel des Motors

zeigt, daß das freie Drehmoment $\Theta \cdot \ddot{\varphi}(\varphi)$ an der Kurbelwelle durch die Überlagerung unterschiedlicher Drehmomentanteile verursacht wird. Effektives Drehmoment M_e und Reibungsdrehmoment M_R können innerhalb eines Arbeitsspiels näherungsweise als konstant angesehen werden. Das effektive Drehmoment M_{eb} läßt sich im Betrieb aus dem Verlauf der Winkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}$ und der Winkelbeschleunigung $\ddot{\varphi}$ und dem in einem Speicher (z. B. in einem Halbleiterspeicher) abgelegten Kennlinienfeld, das vorher mittels Belastungsversuchen bei verschiedenen Drehzahlen und Lasten gemessen wurde, bestimmen. Der Belastungsversuch wird z. B. im Motorenleistungsprüfstand oder im Rollenprüfstand durchgeführt. Die erfinderische Ausgestaltung wird unten beschrieben; insbesondere wird durch erfinderische Kombination von Maßnahmen für alle Betriebsbereiche des Motors eine eindeutige, präzise Bestimmung des effektiven Drehmomentes M_{eb} erreicht.

45 Der Verlauf der Drehmomentensumme aus freiem Drehmoment $\Theta \cdot \dot{\varphi}(\varphi)$, das von dem erfaßten Meßwert direkt abgeleitet wird, und dem Massendrehmoment $M_M(\varphi)$, das modellierbar ist, steht in einem funktionalen Zusammenhang zum effektiven Drehmoment M_e , das quasistatisch ist. Beide Größen, freies Drehmoment $\Theta \cdot \dot{\varphi}$ und Massendrehmoment $M_M(\varphi)$, werden verknüpft und einem Mittelungsprozeß unterworfen. Dafür kommen z. B. 50 der Betragsmittelwert, die Standardabweichung oder der Effektivwert in Frage. Das Massendrehmoment $M_M(\varphi)$ kann aus den Konstruktionsdaten und dem gemessenen Verlauf der Winkelgeschwindigkeit berechnet werden. Für einige Drehzahlpunkte und Lastpunkte wird der funktionale Zusammenhang zwischen mittlerem effektivem Drehmoment M_e und einer geeignet gewählten Mittelung durch Summe $\Theta \cdot \dot{\varphi}(\varphi) + M_M(\varphi) + M_R$ über ein Arbeitsspiel bestimmt. Durch Interpolation wird der Zusammenhang mit einer feineren Rasterung 55 berechnet.

Im Betrieb kann dann das mittlere effektive Drehmoment M_{eb} aus dem im Kennfeld abgelegten funktionalen Zusammenhang und den wieder gemessenen oder bekannten Größen $\Theta \cdot \dot{\varphi}(\varphi) + M_M(\varphi) + M_R$ berechnet werden.

60 Unterschiede im Trägheitsmoment Θ_{MP} des Motors im Motorenprüfstand zum Motor im eingebauten Zustand Θ_{MF} führen zu einer Kalibrierkonstanten

$$C = \frac{\Theta_{MF}}{\Theta_{MP}} \quad (3)$$

65

mit der alle Werte im Kennfeld zu korrigieren sind.

6.2 Zweites Ausführungsbeispiel: Signalauswertung zur Bestimmung des Gasdrehmomentverlaufes

Nachdem das erste Ausführungsbeispiel die genaue Ermittlung des quasistatischen effektiven Drehmomentes M_{eb} , z. B. im Fahrbetrieb zeigt, wird hier eine Erweiterung auf den Gasdrehmomentverlauf $M_G(\varphi)$ dargestellt.

Das berechnete resultierende Wechseldrehmoment $\Theta \cdot \ddot{\varphi}(\varphi) + M_M(\varphi)$ wird hier zur Bestimmung des Gasdrehmomentes $M_G(\varphi)$ herangezogen. Die Auflösung von Gleichung 2 nach dem Gasdrehmoment $M_G(\varphi)$

$$M_G(\varphi) = \Theta \cdot \ddot{\varphi}(\varphi) + M_M(\varphi) + M_{eb} + M_R \quad (4)$$

zeigt, daß außer dem bestimmbaren effektiven Drehmoment M_{eb} sowie den aus den Konstruktionsdaten und Meßdaten ermittelbaren Drehmomentanteilen $M_M(\varphi)$ und $\Theta \cdot \ddot{\varphi}$ nur noch das Reibungsdrehmoment M_R benötigt wird. Das Reibungsdrehmoment M_R wird als ausschließlich von der Drehzahl n abhängig angesehen und in an sich bekannter Weise in Abhängigkeit von der Drehzahl im Auslaufversuch nach dem Stand der Technik bestimmt. Die funktionale Abhängigkeit des Reibungsdrehmomentes von der Drehzahl wird in einer Kennlinie abgelegt. Die Lastabhängigkeit des Reibungsdrehmomentes M_R kann dabei vernachlässigt werden. Damit sind alle Drehmomentanteile bekannt, um das Gasdrehmoment $M_G(\varphi)$ angeben zu können.

6.3 Drittes Ausführungsbeispiel: Zylinderspezifische Auswertungen

Aus dem Verlauf des Gasdrehmomentes $M_G(\varphi)$ (gemäß Ausführungsbeispiel 1 und 2) können sowohl zylinder-spezifische Arbeitsanteile als auch Verbrennungskennwerte ermittelt werden. Die zylinderspezifische Kompressionsarbeit erhält man durch Integration des Gasdrehmomentes innerhalb eines Kurbelwinkelbereiches vor dem Zünd-OT (OT: oberer Totpunkt) des jeweiligen Zylinders. Die zylinderspezifische Expansionsarbeit erhält man durch Integration des Gasdrehmomentes innerhalb eines Kurbelwinkelbereiches nach dem Zünd-OT des jeweiligen Zylinders. Die Differenzen zwischen zylinderspezifischer Expansions- und Kompressionsarbeit ergeben die zylinderspezifischen Arbeitsüberschüsse. Werden Kompressions-, Expansions- und Überschußarbeitsanteile auf die jeweiligen Längen der Integrationsintervalle normiert, ergeben sich die entsprechenden zylinderspezifischen Drehmomentanteile. Eine Multiplikation der Drehmomentanteile mit der mittleren Winkelgeschwindigkeit im entsprechenden Integrationsintervall führt auf die zylinderspezifischen Leistungsanteile.

Aus dem Wechselanteil $M_G(\varphi)$ des Gasdrehmomentes können Maße zur Beurteilung des Verbrennungsablaufes in den einzelnen Zylindern gewonnen werden. Bildet man die Ensemblestandardabweichung des Gasdrehmomentes über mehrere Arbeitsspiele, so ergibt sich für jeden zündenden Zylinder ein lokales Maximum im Verlauf der Ensemblestandardabweichung von $M_G(\varphi)$. Fehlt das ausgeprägte lokale Maximum für einen oder mehrere Zylinder, so deutet das darauf hin, daß in den entsprechenden Zylindern in den betrachteten Arbeitsspielen keine Entflammung stattfindet. Hohe Werte für die lokalen Maxima zeigen große Streuungen der Verbrennungsdruckverläufe und damit verschleppte Verbrennungen oder Zündaussetzer der jeweiligen Zylinder an. Die Lage der Maxima entsprechen den Schwerpunktlagen der Verbrennung in den einzelnen Zylindern. Über eine Schwellwertbetrachtung der Ensemblestandardabweichung von $M_G(\varphi)$ in der Umgebung der lokalen Maxima lassen sich Verbrennungsbeginn und Verbrennungsende angeben.

Das Blockschaltbild zeigt das Prinzip für die Bestimmung des effektiven Drehmomentes und des Gasdrehmomentes aus der Kurbelwinkelgeschwindigkeit gemäß der Erfindung.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung von Drehmomenten, Arbeiten und Leistungen an Verbrennungskraftmaschinen durch Erfassen eines zur Drehung der Kurbelwelle winkelsynchronen Meßsignals, zur Erfassung der Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung sowie durch Erfassen der Nulldrehlage der Kurbelwelle und gleichzeitiger Messung des effektiven Drehmomentes M_e auf einem Prüfstand mittels Belastungsversuchen, dadurch gekennzeichnet, daß die Winkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}(t)$ digital bestimmt wird, wobei ein berührungsfreier Sensor vorgesehen ist, der die Drehlage der Kurbelwelle an mindestens doppelt so vielen Stellen — mindestens jedoch 8 — wie der Motor Zylinder hat durch Abgabe von Impulsen erfaßt und bei jeder Abgabe eines Impulses die Erfassung des Zählerstandes eines frei laufenden Zählers bewirkt, der von einem Referenzoszillator in Gang gesetzt wird und kontinuierlich zählt, und die Differenzen zweier aufeinanderfolgender Zählerstände über einen Tiefpaß mit endlicher Antwortzeit (FIR-Filter) gefiltert und danach normiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Differenzbildung ein Überlauf des Zählers durch eine geeignete Rechenvorschrift berücksichtigt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Ermittlung der Winkelbeschleunigung aus der Winkelgeschwindigkeit mit Hilfe eines differenzierenden Filters endlicher Antwortzeit (FIR-Filter) mit gleichzeitiger Normierung erfolgt.
4. Verfahren zur Ermittlung von Drehmomenten, Arbeiten und Leistungen von Verbrennungskraftmaschinen durch Erfassen eines zur Drehung der Kurbelwelle winkelsynchronen Meßsignals, zur Erfassung der Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung sowie durch Erfassen der Nulldrehlage der Kurbelwelle und gleichzeitiger Messung des effektiven Drehmomentes M_e auf einem Prüfstand mittels Belastungsversuchen, oder nach den Ansprüchen 1—3, dadurch gekennzeichnet, daß die Summe der Drehmomente $M_1 = (\Theta \cdot \ddot{\varphi}(\varphi) + M_M(\varphi))$ in Abhängigkeit von φ gebildet wird und diese Werte derart über ein Arbeitsspiel der Brennkraftmaschine gemittelt werden, daß sich ein möglichst linearer Zusammenhang zwischen diesen Werten (Kennwerten) und dem jeweils zugehörigen M_e , das im Belastungsversuch ermittelt wurde, ergibt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß für die Mittelwertbildung der Betragsmittelwert von M_1 und/oder der mittlere Effektivwert von M_1 ermittelt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1—5, dadurch gekennzeichnet, daß die Kennwerte für verschiedene Drehzahlen und Lasten ermittelt werden und so das Kennlinienfeld für die Brennkraftmaschine bestimmt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß durch Berechnung der Summe aus freiem Drehmoment $\Theta \cdot \ddot{\varphi}(\varphi)$, dem Reibungsdrehmoment M_R , dem Massendrehmoment $M_M(\varphi)$ und dem effektiven Drehmoment M_e das Gasdrehmoment $M_G(\varphi)$ bestimmt wird.
8. Verfahren nach dem Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Gasdrehmomentverlauf $M_G(\varphi)$ Kompressions-, Expansionsarbeit und Arbeitsüberschüsse und die entsprechenden Leistungsanteile für jeden Zylinder berechnet werden.
9. Verfahren zur Ermittlung von Drehmomenten, Arbeiten und Leistungen an Verbrennungskraftmaschinen durch Erfassen eines zur Drehung der Kurbelwelle winkelsynchronen Meßsignals, zur Erfassung der Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung sowie durch Erfassen der Nulldrehlage der Kurbelwelle und gleichzeitiger Messung des effektiven Drehmomentes M_e auf einem Prüfstand mittels Belastungsversuchen oder nach den Ansprüchen 1—8, dadurch gekennzeichnet, daß zur Regelung des Verbrennungsmotors im Betrieb aus dem Gasdrehmomentverlauf $M_G(\varphi)$ die Ensemblestandardabweichung über mehrere Arbeitsspiele gebildet wird und daraus zylinderspezifische Verbrennungskennwerte abgeleitet werden.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

